

Beschreibung

10001] Die Erfindung betrifft eine Strahlungsanordnung, insbesondere zur optischen Thermolyse, umfassend eine nichtkohärente NIR-Lichtquelle, einen Lichtwellenleiter und eine Kühleinrichtung zur Kühlung der oberen Hautschichten und eine pulsable NIR-Lichtquelle.

[0002] Der spektrale Bereich zwischen ca. 700 und 1.300 nm ist für verschiedene dermatologische und auch bildgebende Anwendungen sehr interessant, da in diesem Spektralbereich eine nur noch geringe Absorption durch den Hautfarbstoff Melanin erfolgt und somit eine große Eindringtiefe der Strahlung in diesem Wellenlängenbereich gewährleistet ist. Mögliche Lichtquellen, die diesen Spektralbereich abdecken, sind Neodym-YAG-Laser sowie GaAs-Laserdioden. Darüber hinaus finden nichtkohärente Lichtquellen, wie beispielsweise Xenon-Hochdrucklampen, Verwendung.

[0003] Obwohl die Absorption des Blutfarbstoffs im nahen Infrarot um mehrere Größenordnungen geringer ist als im sichtbaren Bereich, sind doch die Absorptionsunterschiede zum umliegenden Gewebe so stark, daß eine selektive Erwärmung von bestimmten Gefäßen durch NIR-Strahlung möglich ist. Beispielsweise beträgt die Eindringtiefe von Nd-YAG-Strahlung bei einer Wellenlänge von 1064 nm in Haut 4 mm und in Blut 0,8 mm (Berlien, Müller, Angewandte Lasermedizin III, 3.1, 33, Tab. 61, EcoMed-Verlag 1997). Bei den interessierenden Gefäßen handelt es sich beispielsweise um erworbenene Gefäßmißbildungen aus dem Varikosiskomplex (Krampfaden). Die Erwärmung des Gefäßlumens, beispielsweise durch Gefäßabsorption, führt zu einer Schädigung des Gefäßendothels. Hierdurch sinken die vom Endothel abgegebenen gerinnungshemmenden Faktoren wie Stickoxide (NO) sowie Prostacyclin (PGI_2) ab. Thrombozyten lagern sich an der Gefäßwand an und bilden schließlich einen aus Erythrozyten und Thrombozyten bestehenden, das Gefäß verschließenden roten Thrombus. Jetzt fließt durch die Krampfadern kein Blut mehr, und im weiteren Verlauf wird dieser Thrombus von Bindegewebe durchwachsen und somit das Gefäß verodet.

[0004] Bei der Behandlung oberflächlicher Gefäßveränderungen reicht es oft aus, ohne externe Kühlung auszukommen, da infolge der kurzen Impulszeiten eine gewebeschaädigende Wärmeausbreitung in das umliegende Hautgewebe ausbleibt. Will man jedoch tieferliegende Strukturen, wie beispielsweise Haarwurzeln, oberhalb der kritischen Temperatur von ca. 80°C erhitzen, ohne die oberen Hautschichten thermisch zu verletzen, so ist eine externe Kühlung unabdingbar, die die Absorptionswärme der Strahlung aus der obersten Hautschicht, die unverletzt bleiben soll, ableitet.

[0005] Aus der US-5,282,797 ist eine Bestrahlungseinrichtung bekannt, umfassend einen NIR-Laser, einen Lichtwellenleiter und einen mit einem Kühlmittel gefüllten Behälter. In einer bevorzugten Ausführungsform ist

der Behälter als flexibler Beutel mit einem Zulauf und einem Ablauf ausgebildet und in einen geschlossenen Kreislauf eingebunden. Der flexible Beutel wird zwischen der Haut und dem Lichtwellenleiter angeordnet. Durch die flexible Ausbildung des Beutels paßt sich dieser der Umgebung der Haut an, und der Lichtwellenleiter kann direkt auf den Beutel aufgesetzt werden. Beutel und Kühlmittel sind transparent für die NIR-Strahlung ausgewählt, so daß diese nahezu ungeschwächt auf die Haut auftrifft, wobei oberhalb der oberen Hautschicht Wärme entzogen wird und somit thermische Schädigungen der oberen Hautschicht vermieden werden. Nachteilig an den bekannten Bestrahlungsanordnungen mit NIR-Lasern sind die extrem großen Kosten. Ein weiteres Problem stellen die erforderlichen ultrlangen NIR-Pulse mit einer Pulslänge von beispielsweise 50-200 ms mit einer Pulsenergie von beispielsweise 50-200 J dar, die nur mit großem Aufwand zu erreichen sind. Um in mehreren mm Tiefe noch ausreichende Energiedichten zu erreichen, wurde es erforderlich, die Behandlungsfläche auf mindestens 1 cm² und die Pulslängen auf bis zu mehreren 100 ms zu erhöhen.

[0006] Diese günstigen Behandlungsparameter kommen den physikalischen Eigenschaften eines Lasers nicht entgegen. Die Pulszeiten von gutegeschalteten Lasern sind so kurz, daß nur kleinste oberflächliche Strukturen behandelt werden könnten. Für verschiedene Hauterkrankungen ist die gleichzeitige Behandlung von einem oder mehreren cm² Hautoberfläche günstig. Die erforderliche Strahlaufweitung von beispielsweise 40.000 µm² auf 1 cm² ist mit einem erheblichen technischen Aufwand verbunden und hebt gleichzeitig den eigentlichen lichtkonzentrierten Lasereffekt teilweise auf.

[0007] Der vergleichsweise schlechte Wirkungsgrad der Laser bedingt einen erhöhten technischen Aufwand, so daß in jüngster Zeit vermehrt Laserdiodenbarren eingesetzt werden, bei denen eine Vielzahl einzelner Laserdioden von beispielsweise 1-3 W oberhalb einer Einzelfaser mit dem Einsatzort verkoppelt sind. Diodengepumpte Festkörperlaser, aber auch nichtkohärente Blitzlampen haben üblicherweise Pulslängen im ns- bis ms-Bereich, so daß aufwendige Resonatormodifikationen für längere Pulse notwendig sind. Laserdioden haben den Nachteil, daß diese aus thermischen Gründen nicht im gutegeschalteten Pulsbetrieb betrieben werden können, sondern sich lediglich im cw-Betrieb ein- und ausschalten lassen. Um die erforderliche Leistung zu erreichen, benötigt man eine sehr hohe Anzahl von Laserdiodenstacks, die zur Zeit mehrere 10.000 DM kosten.

[0008] Aus der US-5,620,478 ist eine Bestrahlungsanordnung mit einer nichtkohärenten Strahlungsquelle bekannt, die als Xenon-Hochdruckblitzlampe ausgebildet ist. Die Blitzlampe ist dabei in einem Reflektor angeordnet, dem ein Lichtwellenleiter zugeordnet ist, in den die erzeugte optische Strahlung eingekoppelt wird und

dessen Austrittsfläche auf die bestrahlte Hautpartie aufgesetzt wird. Aufgrund der divergenten Strahlung der Lichtquelle ist eine Kühleinrichtung, wie dies von den Laseranordnungen bekannt ist, nicht möglich, da es an den Grenzschichten zu dem Kühlmittel zu Reflexionen und Streuungen kommen würde. Daher wird als Alternative ein für die NIR-Strahlung transparentes, kohlendes Gel vorgeschlagen, das auf die zu behandelnde Hautpartie aufgetragen wird. Wie sich jedoch in der praktischen Anwendung gezeigt hat, ist die Wärmeabfuhr durch das Gel zu gering, so daß es häufig zu Verbrennungen in der oberen Hautschicht kommt. Ein weiterer Nachteil ist, daß infolge der hohen Plasmatemperatur von 6000°C ein bis in den UVC-Bereich reichendes kontinuierliches Spektrum mit nur einem geringen NIR-Anteil erzeugt wird, so daß der Wirkungsgrad verhältnismäßig schlecht ist. Zudem sind daher aufwendige Filtermaßnahmen zur Unterdrückung der nicht gewünschten Spektralbereiche notwendig. Weiterhin benötigen die Blitzlampen aufgrund der hohen Temperaturen eine aufwendige Wasserkühlung, die Service- und Herstellkosten weiter erhöhen.

[0009] Aus der US-5,344,418 ist eine Bestrahlungsanordnung mit einer Hochdruckentladungslampe als NIR-Lichtquelle bekannt, deren emittierte Strahlung in einem Lichtwellenleiter eingekoppelt wird, über eine erste Linse gesammelt, über einen Spiegel umgelenkt, eine zweite Linse gesammelt und über eine weitere aus Saphir bestehende Linse aus der Anordnung heraustritt. Die Saphirlinse wird dabei von einem Kohlgas wie CO₂, Freon oder einem ähnlichen Gas umspült und entsprechend abgekühlt, wobei dann die gekühlte Saphirlinse direkt auf die zu behandelnde Hautpartie aufgesetzt wird. In einer alternativen Ausführungsform wird vorgeschlagen, daß das Licht aus dem Lichtwellenleiter direkt auf die Saphirlinse gestrahlt wird. Nachteilig an der bekannten Vorrichtung ist die geringe Wärmekapazität der Saphirlinse aufgrund des geringen Volumens. Verstärkt wird dieses Problem durch die Beschränkung auf Kohlgase, die im Vergleich zur Kohlflossigkeit erheblich weniger Wärme aufnehmen können. Flossigkeiten können wegen der ansonsten auftretenden Dispersion an der Saphirlinse nicht verwendet werden. Ein weiteres Problem stellen thermisch isolierende Dampfschichten des Kohlgases oberhalb der Saphirlinse dar, die durch geeignete Verwirbelungstechnik vermieden werden müssen.

[0010] Aus der US-5,830,208 ist eine Bestrahlungsanordnung bekannt, bei der die Kühleinrichtung als Peltierelement ausgebildet ist. Der eine Nachteil der bekannten Anordnung ist, daß die handelsüblichen Peltierelemente nicht ausreichend Kühlleistung zur Verfügung stellen, um Verbrennungen der oberen Hautschicht zu verhindern. Bei einem Einsatz der Peltierelemente in einer Anordnung gemäß der US-5,344,418 stellt sich zusätzlich das Problem, daß eine seitliche Kühlung der Saphirlinse aufgrund der geringen Umfangsfläche der Linse nur ungenügend ist. Verstärkt

wird dieser Effekt durch die notwendige seitliche Fassung der Linse, die wiederum einen erhöhten Wärmeübergangswiderstand bildet. Zudem führen geringe Luftspalte zwischen der Fassung und der Saphirlinse zu einer bereits erheblich ins Gewicht fallenden thermischen Isolierung der Saphirlinse.

[0011] Aus der US-5,814,040 ist eine Bestrahlungsanordnung mit einem NIR-Laser bekannt, der eine Sprueinrichtung für ein Kaltemittel, vorzugsweise R 134 A zugeordnet ist, mittels derer die zu behandelnde Hautoberfläche kurzzeitig im Bereich von 10 ms bestrahlt und somit gekühlt wird. Dadurch sollen einerseits die erwähnten Verbrennungen in der oberen Hautschicht vermieden werden und andererseits sichergestellt werden, daß die tieferliegenden, zu erwärmenden Hautschichten nicht abgekühlt werden. Zwar führt die entstehende Verdunstungswärme zu einem schnellen Abkühlen des Gewebes, jedoch ist die Abkühlung nur schwer steuerbar, so daß zum einen nur sehr kurze Impulse im Bereich von 100 ms verwendet werden und zum anderen durch starkes Anblasen vermieden werden muß, daß sich eine thermisch isolierende Kohlmittelschicht ausbildet. Unter ökologischen Gesichtspunkten ist weiterhin das Entweichen von für den Abbau der Ozonschicht verantwortlichen FCKW's bedenklich. Ein weiteres Problem stellt bei Verwendung nichtkohärenter Strahlungsquellen die Unterbrechung des Strahlenganges dar. Zwischen Haut und Applikator muß ein Luftspalt verbleiben, der für die Zufuhr von Kühlmittel benötigt wird. Dadurch entstehen jedoch zusätzliche Grenzschichten, die bei inkohärenten Strahlungsquellen zu erheblichen Einkoppelungsverlusten führen.

[0012] Aus der US-4,233,493 ist eine Bestrahlungsanordnung zum Stoppen von Blutungen bei chirurgischen Eingriffen bekannt, umfassend eine als Glühlampe ausgebildete NIR-Lichtquelle, einen die IR-Lichtquelle umgebenden Reflektor, einen Lichtwellenleiter und eine an der Austrittsöffnung des Lichtwellenleiters angeordnete Kappe oder Scheibe, die beispielsweise aus Quarz oder Saphir besteht. Die Glühlampe ist dabei vorzugsweise als konventionelle Wolfram-Glühlampe ausgebildet.

[0013] Der Erfindung liegt daher das technische Problem zugrunde, eine Bestrahlungsanordnung zur optischen Thermolyse zu schaffen, mit der unter Einsatz einer inkohärenten NIR-Lichtquelle eine ausreichende Kühlleistung zur Verhinderung von Verbrennungen in den oberen Hautschichten verfügbar ist. Ein weiteres technisches Problem ist die Schaffung einer preiswerten und kompakten pulsaren NIR-Lichtquelle.

[0014] Die Lösung des technischen Problems ergibt sich durch die Merkmale der Patentansprüche 1, 6 und 7. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0015] Durch die einstückige Ausbildung des Lichtwellenleiters aus einem massiven Quarz oder Saphir,

dessen Umfang mindestens teilweise von einem in einem geschlossenen Kohlkreislauf befindlichen Kohlmittel umstramt wird, stellt der Lichtwellenleiter selbst eine große Warmesenke dar, so daß es beim direkten Aufsetzen des Lichtwellenleiters auf die Hautoberfläche zu keinen Verbrennungen kommt, da die Absorptionswärme der oberen Hautschichten ober eine direkte Wärmeleitung abgeführt wird. Ein weiterer Vorteil der Anordnung ist, daß durch die seitliche Kohlung sich kein Kohlmittel im Strahlengang der NIR-Lichtquelle befindet. Ein weiterer Vorteil der Anordnung ist, daß der Lichtwellenleiter such in der Lage ist, rockgestreute Wärmestrahlung bis zu einer Wellenlänge von 51 m wieder einzukoppeln und abzuführen.

[0016] Vorzugsweise wird als Kohlmittel eine Kohlfüssigkeit verwendet, da diese erheblich mehr Wärme im Vergleich zu gasförmigen Kuhlmitteln abführen können. Prinzipiell können alle bekannten Kohlfüssigkeiten verwendet werden, wie beispielsweise Wasser, Alkohol oder Glykol. Der Brechzahlunterschied zwischen Saphir bzw. Quarz zu den verwendeten Kuhlmitteln ist dabei derart groß, daß fast eine vollständige **Totalreflexion** im Lichtwellenleiter auftritt. Der Strahlungsweg wird ähnlich wie bei einer kleinen Lichtleitfaser bis zum Ort des Hautkontaktes nicht unterbrochen, so daß am Austrittsort gut durchmisches Licht mit einer Apertur aus dem Verhältnis der beiden Brechzahlen austritt.

[0017] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist der Lichtwellenleiter zylinderförmig oder rechteckförmig ausgebildet. Die zylinderförmige Ausföhrungsform läßt sich sehr einfach herstellen und mittels O-Ringen abdichten, wobei der Durchmesser des Zylinders beispielsweise 12 mm bei einer Länge von 70 mm beträgt. Der Vorteil einer rechteckförmigen Ausbildung von beispielsweise 8 mm x 35 mm ist, daß längere Gefäße simultan in ihrem Gesamtverlauf erwärmbar sind, so daß eine Wirkungsverminderung durch die Eigenkühlung des Gefäßes reduziert wird.

[0018] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird das langweilige Infrarot unterdrückt. Hierzu gibt es prinzipiell verschiedene Möglichkeiten. Im einfachsten Fall wird zwischen der NIR-Lichtquelle und der Stirnseite des Lichtwellenleiters ein entsprechender Filter angeordnet, der diesen Spektralbereich unterdröckt. Allerdings stellt die thermische Belastung der Filter ein **Problem** dar. Daher wird vorzugsweise der langweilige Infrarotfilter der das Applikatorende bildenden Stirnseite zugeordnet, wo dieser beispielsweise mittels eines geeigneten thermischen und optischen Kitts mit der Stirnseite verbunden wird.

[0019] In einer alternativen Ausführungsform wird ausgenutzt, daß die Kohlfössigkeiten, insbesondere Wasser, sehr gute langweilige IR-Filter darstellen. Insbesondere Wasser filtert exakt die Spektralbereiche heraus, die ansonsten zu einer unerwünschten Eiweißkoagulation an der Hautoberfläche führen konnten. Daher wird die der NIR-Lichtquelle zugeordnete Stirnseite vollständig innerhalb der Kohlfüssigkeit angeord-

net. Zwischen der NIR-Lichtquelle und der Stirnseite wird dann der Kohlkreislauf mittels eines Quarz- oder Saphirfensters verschlossen. Die zuvor erwähnten Probleme beim Durchgang inkohärenter Strahlung durch eine Fössigkeitsschicht können durch eine entsprechende große Apertur der NIR-Lichtquelle gelöst werden, was später noch natter erläutert wird.

[0020] Eine weitere Möglichkeit zur Unterdröckung der langwelligen Infrarotstrahlung besteht darin, beispielsweise die NIR-Lichtquelle in einem Brennpunkt eines Ellipsoid-Reflektors anzuordnen, in dessen anderem Brennpunkt die Stirnseite des Lichtwellenleiters angeordnet ist. Der Reflektor besteht aus einem langweiligen Infrarotstrahlung transmittierenden Material wie beispielsweise Teflon. Zur Verhinderung einer direkten Einkopplung von der NIR-Lichtquelle in den Lichtwellenleiter ist im direkten Strahlengang ein Filter oder ein weiterer Reflektor angeordnet. Der Vorteil dieser Anordnung ist, daß die NIR-Nutzstrahlung nicht eine Fössigkeitsschicht passieren muß, jedoch verliert die Bestrahlungsanordnung aufgrund des Volumens des Ellipsoid-Reflektors etwas von seiner Kompaktheit.

[0021] Eine weitere bevorzugte Anwendung bezieht sich auf den Einsatz der Anordnung zu einer gewebeschonenden Kryotherapie. Oblicherweise wird die Kryotherapie mit einem Metallapplikator durchgeführt, der von innen entweder mit einem Kohlmittel, wie beispielsweise R 134 A, oder direkt mit flössigem Stickstoff durchströmt wird. Setzt man einen derartig vorgekühlten Applikator auf die zu behandelnde Läsion, wie beispielsweise ein oberflächliches Karzinom, auf, so kommt es entsprechend der gewebetypischen Wärmeleitkonstante und dem Wärmeübergang zwischen Gewebe und Applikator zu einer Kalteausbreitung im Gewebe. Diese Kalteausbreitung erfolgt in annähernd konzentrischen Isothermen, wobei vor allem große Bereiche, schnell fließende Gefäße das isothermische Ausbreitungsprofil deformieren.

[0022] Der erfrierungsbedingte Gewebeschaden wird durch eisbedingte, biophysikalische Gewebeveränderungen verursacht. Insbesondere intrazelluläres Eis kommt ober ein direktes Zerreißen von Zellmembranstrukturen eine besonders schädliche Rolle zu. Die Entstehung von physikalisch wirksamem, intrazellulärem Eis kann nun durch bestimmte Maßnahmen verhindert werden. Hierzu gehören die Induktion von Scherkräften mit Hilfe von Ultraschall, Magnetfeldern oder photoakustischen Verfahren. Darüber hinaus ist es mit Hilfe einer gepulsten, zeitlich **synchronisierten** Bestrahlung der zu schützenden Hautoberfläche möglich, den Grad des "undercooling" erheblich anzuheben. Hierunter versteht man die Absenkung der Temperatur unterhalb des Schmelzpunktes, wobei durch Abwesenheit von Kristallisationskeimen die gewebeschaädigende Eisbildung erheblich verhindert werden kann.

[0023] Mit der Anordnung ist es somit möglich, tiefere Gewebsstrukturen einer Kryotherapie zu unterziehen und gleichzeitig durch eine Beeinflussung der

oberen Gewebeschichten mit Hilfe von optischer, magnetischer und akustischer Energie deren Schädigung zu verhindern. Die bevorzugte Anwendung erlaubt nun erstmals auch die kryotherapeutische Behandlung von tieferen Gewebsstrukturen, wie beispielsweise Haarwurzeln oder Gefäßanomalien. Ein weiterer möglicher Vorteil der Kryotherapie ist ihre gewebsschonende Anwendung.

[0024] Im Gegensatz zu einer Kryotherapie kommt es bei einer Photokoagulation immer zu einer Protein-denaturierung. Dies ist in der Regel immer eine starke Entzündungsreaktion aus, in dessen Rahmen die beteiligten Entzündungszellen sekundäre Schäden verursachen. Hierzu gehören beispielsweise Narben und Hyperpigmentierungen. Wird die erwünschte Gewebekresekse nicht durch Hitzeeinwirkung sondern durch Kälteeinwirkung erzeugt, so ist die hierbei auftretende Nekrose mit einer wesentlich kleineren Entzündungsreaktion verbunden, da es zwar durch Mikrokristallbildung in den Einzelzellen zu einer Perforation der Zellwand, einen Austritt von Intrazellulärflüssigkeit und nachfolgendem Zelltod kommt, jedoch treten in diesem Fall zu keiner Zeit denaturierte Eiweiße auf. Kryotherapie wurde bisher ausschließlich mit Hilfe von Applikatoren durchgeführt, die eine Schonung der oberen Gewebeschichten nicht zulassen.

[0025] Die Bestrahlungsanordnung kann neben der bereits erwähnten optischen Thermolyse auch zur Behandlung von Hämorrhoiden, der lokalisierten Form der Schuppenflechte (Plaques), NIR-Bindegewebsinteraktion (Zellulite) sowie einiger Formen des Prostatahypertrophie-Symptomenkomplexes verwendet werden. Bei einer Senkung der Bestrahlungsstärke kann die Bestrahlungsanordnung bei chronisch rezidivierenden Entzündungen im Nasennebenhöhlen- und Stirnhöhlenbereich eingesetzt werden, wo der schleimlösende Einfluss derartiger Wärmebehandlungen ausgenutzt wird. Ein weiteres Anwendungsfeld ist die günstige Beeinflussung von kollagensynthetisierenden Fibroblasten, bei denen durch NIR eine Änderung des Kollagensyntesemusters erreicht werden kann. Hiermit ist sowohl eine positive Beeinflussung von alterungsbedingten Hautfalten als auch der bindegewebsbedingten ungleichmäßigen Fettzellenanordnung (Zellulite) möglich.

[0026] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst die NIR-Lichtquelle eine Wolfram-Nacktwendel, einen halboffenen Reflektor, eine Schutzgasquelle und eine Spannungspulse erzeugende Spannungsquelle, wobei die Wolfram-Nacktwendel einseitig im Reflektor gesockelt und mit der Spannungsquelle verbunden ist, der Lichtwellenleiter in den halboffenen Reflektor hineinragt, so daß zwischen Lichtwellenleiter und Reflektor eine Öffnung definiert wird, über die Schutzgas in den Reflektor ein- und/oder ableitbar ist. Vorzugsweise ist der Reflektor als Keramikreflektor ausgebildet und derart dimensioniert, daß dieser direkt auf den Lichtwellenleiter aufgesetzt wer-

den kann. Hierbei kommt es nicht zu einem luftdichten Abschluß, sondern es verbleibt entweder ein umlaufender Randspalt, oder es wird über eine oder mehrere kleine Kerben eine Undichtigkeit erzeugt. Über eine externe Zuleitung, beispielsweise eine feine Bohrung in der Nähe des Wendelsockels, wird dann das Schutzgas eingeleitet und kann über die Öffnungen zwischen Lichtwellenleiter und Reflektor entweichen. Dadurch entsteht eine äußerst kompakte Anordnung, bei der der Abstand zwischen der emittierenden Wolfram-Nacktwendel und dem Lichtwellenleiter sehr gering ist, so daß die Einkoppelverluste ebenfalls sehr gering sind. Des Weiteren erlaubt diese Anordnung ein einfaches Auswechseln von defekten Wendeln, sowie den problemlosen Einsatz verschiedener Wendelgeometrien, wobei vorzugsweise Flachwendeln zur Anwendung kommen. Ein weiterer Vorteil dieser Anordnung ist, daß diese vollkommen drucklos aufgebaut ist, so daß keinerlei Explosionsgefahr besteht. Im Falle eines Versagens der Schutzgaszufuhr verglüht lediglich die Wendel in wenigen Millisekunden, und das Gerät stellt seine Funktion ein. Im Gegensatz zu gepulsten Gasentladungslampen entfallen bei dieser Anordnung Hochspannungsbauteile. Bei Verwendung von Nieder-voltwendeln und der Bereitstellung entsprechend dimensionierter Kupferzuleitungen kann die Lichtquelle beispielsweise mit 48 V gepulst werden, wodurch die Patientensicherheit weiter erhöht wird. Ein weiterer Vorteil des Schutzgasstromes ist, daß die Glühwendel starker im Überlastbereich betrieben werden kann, ohne daß es zu einem Aufschmelzen kommt, da der Schutzgasstrom als Kühlmittel für die Wendel wirkt. Des Weiteren ist es möglich, die Oberfläche der Glühwendel mit einer geeigneten Mikrostrukturierung auszubilden, um durch Interferenzeffekte das abgestrahlte Spektrum zu beeinflussen. Da die Strukturierung von Mehrfachwendeln relativ aufwendig ist, kann daher in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform eine Wolframfolie verwendet werden, wie sie aus Bandlampen bekannt ist. Diese Wolframfolie kann dann beispielsweise durch chemische Bedampfungsverfahren oder Ionenätzung mikrostrukturiert werden.

[0027] Alternativ kann die pulsable NIR-Lichtquelle durch eine Glühwendel-Halogenlampe realisiert werden, die beispielsweise von einer Kondensatorbatterie mit einem rechteckförmigen Überspannungspuls von beispielsweise 500 V über 20 - 200 ms betrieben wird. Trotz der extremen Stromstärken von mehreren 10 A kommt es nicht zu einem Durchglühen der Wendel, sondern zu einer überraschend extremen Verkürzung der Anstiegszeit in eine Größenordnung von 7 ms (Vergleich: Wird eine handelsübliche Glühwendel-Halogenlampe ans Netz geschaltet, so ist die Anstiegszeit ungefähr 200 - 300 ms). Durch die extreme Kurzzeit-Überlastung kommt es darüber hinaus zu einer Erhöhung der Wendeltemperatur auf über 3000°C und hiermit zu einer Verschiebung des Strahlungsmaximums zu kleineren Wellenlängen. Bei einer bevorzug-

ten Ausführung der Glühwendel aus Wolfram verschiebt sich das Maximum von 1000 nm auf 870 nm. Neben einer besseren Ausnutzung des sogenannten optischen Fensters der Haut, ist auch die Flächenleistung der Glühwendel in Folge ihrer höheren Temperatur und der damit verbundene Wirkungsgrad signifikant erhöht. Ein weiterer Vorteil dieser Betriebsart bezieht sich auf die Beeinflussung der Wolframwendelstruktur selbst. Im **Herstellungsprozeß** wird ein faseriges Drahtmaterial verwendet, das eine ausreichende Duktilität für die Biegevorgänge besitzt. Für einen befriedigenden Lampenbetrieb ist die Umsetzung in eine kristalline Struktur günstig. Beispielsweise wird in der US-4,012,659 and der US-4,020,383 beschrieben, daß elektrische Pulse die Lebensdauer von normalen Glühlampen günstig beeinflussen. Neben der Wolframrekristallisierung wird erwähnt, daß mit Hilfe der Pulse Kontaktprobleme, beispielsweise aufgrund von Oxidation, zwischen der Drahtaufhängung und der Wolframwendel beseitigt werden können.

[0028] Eine weitere Möglichkeit, die Abstrahlung weiter zu erhöhen, ist eine möglichst enge Ummantelung der Halogenlampe durch einen Reflektor, der lediglich im Auskoppelbereich geöffnet ist, wobei der Reflektor beispielsweise als polierter Metallreflektor ausgebildet ist. Hierdurch kommt es zu einer Reabsorption der reflektierten Strahlung durch die Wendel und damit zu einer weiteren Erhöhung des Wirkungsgrades im Nutzstrahlbereich.

[0029] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Die Fig. zeigen:

- Fig.1 eine Prinzipdarstellung einer Bestrahlungsanordnung zur optischen Thermolyse,
 Fig.2 einen Längsschnitt durch den Lichtwellenleiter,
 Fig.3 eine Prinzipdarstellung der Bestrahlungsanordnung mit unterdrückter langwelliger Infrarotstrahlung und
 Fig.4 eine Prinzipdarstellung einer Bestrahlungsanordnung für die Kryotherapie.

[0030] Die Bestrahlungsanordnung 1 zur optischen Thermolyse umfaßt eine pulsable NIR-Lichtquelle 2, einen Lichtwellenleiter 3 und eine Kühleinrichtung 4. Die Kühleinrichtung 4 umfaßt neben einem Sammelgefäß für die Kuhlflüssigkeit 9 einen Zulauf 5, einen Abfluß 6 und einen zylinderschalenförmigen Bereich 7, der den Lichtwellenleiter 3 nahezu vollständig umgibt. Der zylinderschalenförmige Bereich 7 ist mittels O-Ringen 8 hermetisch dicht um den Lichtwellenleiter 3 herum angeordnet, so daß sich ein geschlossener Kühlkreislauf ergibt. Der Lichtwellenleiter 3 ist als massiver Zylinder aus Saphir oder Quarz ausgebildet, dessen der NIR-Lichtquelle 2 zugewandte Stirnfläche 10 möglichst dicht der NIR-Lichtquelle 2 zugeordnet ist. Die gegenüberliegende Stirnseite 11 bildet das Applikatorende,

das direkt auf einen zu behandelnden Hautbereich 12 aufgesetzt wird. Die NIR-Lichtquelle 2 ist als Glühwendel-Halogenlampe mit einer Glühwendel 13 aus Wolfram ausgebildet, die mittels einer nicht dargestellten Spannungsquelle im Überlastbereich angesteuert wird. Um den Quarzkolben der **Glühwendel-Halogenlampe** ist ein Reflektor angeordnet, der nur im Bereich der Stirnfläche 10 des Lichtwellenleiters 3 offen ist. Die von der NIR-Lichtquelle 2 emittierte NIR-Strahlung wird in die Stirnseite 10 eingekoppelt und tritt an der Stirnseite 11 aus. Die austretende NIR-Strahlung dringt dann in die Haut 12 ein und wird **von den Gefäßen absorbiert**. Der fast vollständig von Kuhlflüssigkeit 9 umströmte **Lichtwellenleiter 3** stellt dann eine sehr große Wärmesenke für die oberste Hautschicht dar und verhindert so Verbrennungen aufgrund zu großer Wärmeentwicklung. Somit übernimmt der Lichtwellenleiter 3 in der Bestrahlungsanordnung 1 eine Doppelfunktion, nämlich die des optischen Leiters und die eines Kühlelementes. Daher muß das Material sowohl ausreichend gute optische als auch thermische Eigenschaften hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Diese beiden **Eigenschaften** werden sehr gut von Saphir, Quarz und Diamant erfüllt, wobei letzterer zwar physikalisch am geeignetsten ist, jedoch auch am teuersten ist, so daß zumindest derzeit aus kostentechnischen Gründen eine Verwendung nicht in Frage kommt. Prinzipiell kamen aber Kunststoffe in Frage, die die beiden notwendigen physikalischen Eigenschaften miteinander vereinen.

[0031] In der Fig.2 ist der Lichtwellenleiter 3 im Längsschnitt dargestellt. Die NIR-Nutzstrahlung 14 bewegt sich mittels Totalreflexion im Lichtwellenleiter 3 fort, wenn der Aufttrittswinkel an der Grenzfläche zur Kuhlflüssigkeit 9 größer als ein Grenzwinkel ist. Dieser von den Brechzahlen abhängige Grenzwinkel liegt für Saphir und die üblichen Kuhlflüssigkeiten bei ca. 30°, so daß die Ausbreitungsverluste äußerst gering sind. Aufgrund des Temperaturgradienten an der Haut 12 kommt es zu einem direkten Warmestrom 15 von der Haut 12 zum Lichtwellenleiter 3, wo die Wärme über die Kuhlflüssigkeit 9 abgeführt wird. Des weiteren wird von der Haut 12 reflektierte Wärmestrahlung 16 in die Stirnseite 11 des Lichtwellenleiters 3 eingekoppelt und ebenfalls abgeführt.

[0032] In der Fig.3 ist eine Bestrahlungsanordnung 1 mit Unterdrückung langwelliger Infrarotstrahlung dargestellt. Der wesentliche Unterschied zur Bestrahlungsanordnung 1 gemäß Fig.1 besteht darin, daß die der NIR-Lichtquelle 2 zugeordnete Stirnseite 10 des Lichtwellenleiters 3 sich vollständig innerhalb der Kuhlflüssigkeit 9 befindet. Zwischen der NIR-Lichtquelle 2 und der Stirnseite 10 ist der Kühlkreislauf mittels eines Quarz- oder Saphirfensters 17 abgeschlossen. Die Apertur der NIR-Lichtquelle 2 und des Quarz- oder Saphirfensters 17 ist dabei wesentlich größer als die der Stirnseite 10 des Lichtwellenleiters 3. Bei diesem Aufbau sind folgende Überlegungen von Interesse.

[0033] Jeder Lichtwellenleiter 3 oder jede Lichtleit-

faser! weist! einen! Öffnungswinkel! auf! Strahlung! die innerhalb! dieses! Winkels! auf! den! Lichtwellenleiter! trifft, wird! eingekoppelt! and! mittels! Totalreflexion! weitergeleitet. Strahlung! außerhalb! dieses! Winkels! geht! durch Reflexion! beim! Einkoppeln! bzw.! als! Transmissionsverlust! im! Lichtwellenleiter! verloren! Der! Öffnungswinkel! ist abhängig! von! der! Differenz! der! Brechungsindices. Bei! Luft! als! Umgebung! gilt:

$$\sin \theta = (n_{\text{Kern}}^2 - n_{\text{Mantel}}^2)^{1/2}$$

wobei! θ ! der! Akzeptanzwinkel! der! Faser! ist! Befindet! sich der! Lichtwellenleiter! ohne! separaten! Mantel! an! der Luft! so! ist! der! Akzeptanzwinkel! 90°! für! alle! Materialien mit! einem! Brechungsindex! größer! 2^{1/2}, so! daß! die gesamte! Strahlung! aus! dem! Halbraum! in! die! Faser! eingekoppelt! and! weitergeleitet! wird! Da! der! Brechungsindex! von! Saphir! 1,77! beträgt, existiert! ein Akzeptanzwinkel! von! 90°! für! alle! Mantelmaterialien! mit einem! Brechungsindex! kleiner! 1,46! (z.B.! Wasser)! Aufgrund! der! winkelabhängigen! Reflexion! treten! erhebliche Reflexionsverluste! bei! Einfallswinkeln! größer! 70°! auf. Aufgrund! dieser! Tatsache! können! die! Einkoppel-Verluste! durch! den! Durchgang! durch! die! wasserhaltige! Kuhlflüssigkeit! 9! durch! eine! entsprechend! vergrößerte Apertur! der! Glühwendel! 13! bzw.! der! Bandwendel! kompensiert! werden.

[0034] Das! Quarzfenster! 17! ist! beispielsweise! 2 mm! dick! and! der! Abstand! zwischen! der! Innenseite! des Quarzfensters! 17! zur! Stirnfläche! 10! des! Lichtwellenleiters! 3! ca.! 4! mm! Daraus! ergibt! sich! bei! einem! Durchmesser! des! Lichtwellenleiters! 3! von! 13! mm! ein optimaler! Durchmesser! der! NIR-Lichtquelle! 2! von! 24 mm! Die! Ausbildung! des! Fensters! 17! aus! Quarz! hat gegenüber! Saphir! neben! dem! Vorteil! der! geringeren Kosten! den! weiteren! Vorteil! daß! das! Quarz! bereits einen! Teil! des! langwelligen! infrarotlichtes! absorbiert. Die! restliche! langwellige! infrarotstrahlung! wird! dann! von der! Kuhlflüssigkeit! 9! absorbiert! Zur! Unterdrückung möglicher! Anteile! der! Nutzstrahlung! im! sichtbaren Bereich! können! diese! durch! geeignete! Farbstoffe! in! der Kuhlflüssigkeit! herausgefiltert! werden.

[0035] In! einer! alternativen! Ausführungsform! wird das! Quarzfenster! 17! and! die! darunterliegende! Flüssigkeitsschicht! durch! einen! Konus! aus! optisch! transparentem! Material! ersetzt. Als! Material! kommen insbesondere! Quarz! oder! BK7-Glas! in! Frage! Die! Stirnflächen! des! Konus! sind! vorzugsweise! plangeschliffen and! poliert! Der! lampennahe! Durchmesser! der! ersten Stirnfläche! beträgt! beispielsweise! 30! mm! wohingegen der! lampenferne! Durchmesser! ca.! 12! mm! beträgt! Der Konuswinkel! liegt! dabei! zwischen! 10-15°! Vorzugsweise ist! der! gesamte! Konus! von! einem! infrarotreflektierendem! Trichter! umgeben! der! vorzugsweise! durch! eine Goldschicht! gebildet! wird! Zwischen! Trichter! and! Konus bleibt! ein! Randspalt! erhalten! um! einerseits! die! Totalreflexion! zwischen! Konusmaterial! and! Luft! auszunutzen. Andererseits! will! der! vergoldete! Trichter! Lichtstrahlen

zurück! in! das! optische! System! die! den! Grenzwinkel! für die! Totalreflexion! überschritten! hatten! Die! optische Kopplung! zwischen! der! lampenfernen! Stirnfläche! des Konus! and! des! Lichtwellenleiters! 3! erfolgt! vorzugsweise durch! Silikonöl! im! Kapillarspalt! beider! Stirnflächen! Der Lichtwellenleiter! 3! ist! vorzugsweise! als! Saphirstab! ausgebildet! and! wird! teilweise! im! Mantelbereich! durch! eine Flüssigkeitsperfusion! gekühlt! In! Abhängigkeit! von! der Infrarotabsorption! des! Perfusionskühlmittels! kann! es vorteilhaft! sein! den! Saphirzylinder! im! Bereich! des! Flüssigkeitsmantels! zu! vergolden! daß! der! Flüssigkeitsmantel im! Vergleich! zu! einem! Luftmantel! den! Grenzwinkel! für die! Totalreflexion! absenkt! Alternativ! zur! Goldschicht auf! dem! Saphirzylinder! kann! dieser! auch! in! einer! Hülse aus! IR-reflektivem! Material! geführt! werden! Patientenseitig! ragt! der! Saphir! ca.! 2! bis! 3! cm! aus! der! Fassung! um eine! möglichst! hohe! optische! Transparenz! der! Behandlungsfläche! zu! gewährleisten! Die! mittel-! and! langwellige! IR-Absorption! wird! entweder! durch! den! Werkstoff des! Konus! wie! beispielsweise! BK7-Glas! oder! mittels Filtern! erreicht! wobei! die! Filter! vorzugsweise! zwischen Konus! and! Saphirzylinder! angeordnet! werden.

[0036] In! der! Fig.4! ist! eine! Bestrahlungsanordnung 1! für! die! Kryotherapie! dargestellt! die! in! ihrem! Aufbau der! Bestrahlungsanordnung! 1! gemäß! Fig.3! entspricht. Zusätzlich! weist! die! Bestrahlungsanordnung! 1! einen piezokeramischen! Ultraschalltransducer! 18! auf! der eine! ungewollte! Eiskristallbildung! verhindern! soll! Diese Betriebsart! unterscheidet! sich! von! der! vorher! genannten! optischen! Thermolyse! dadurch! daß! die! erwünschten! Gewebseinwirkungen! wie! beispielsweise Thrombosierung! von! Krampfaden! nicht! in! einer! Warmezufuhr! sondern! in! einem! Wärmeentzug! bestehen. Deshalb! ist! es! erforderlich! die! Temperatur! des! Kühlmittelapplikators! so! weit! wie! möglich! zu! senken! wozu! als Kuhlflüssigkeit! 9! vorzugsweise! flüssiger! Stickstoff! verwendet! wird! Die! optische! Energie! der! NIR-Lichtquelle! 2! wird! in! diesem! Fall! lediglich! für! die! Erwärmung! der obersten! Hautschichten! verwendet! Die! hier! erforderliche! Energie! von! beispielsweise 5! -! 20! J! ist! wesentlich! geringer! als! für! die! direkte! Photo-koagulation! von! beispielsweise! 100! -! 300! J! In! Abhängigkeit! von! der! gewebstypischen! Anzahl! an Kristallkeimpunkten! sowie! deren! Wachstumsverhalten ist! es! sinnvoll! eine! hierauf! abgestimmte! gepulste Bestrahlung! durchzuführen! Hierdurch! wird! in! den! oberen! Gewebsschichten! ein! zyklischer! Temperaturverlauf erzeugt! der! die! Entstehung! von! intrazellulärem! Eis! verhindert. Hierdurch! kann! die! Temperatur! zum! Teil! weit unter! den! Schmelzpunkt! der! Gewebeflüssigkeit! abgesenkt! werden! ohne! daß! es! zu! einer! Eiskristallbildung! im Gewebe! kommt! Die! durch! den! Ultraschall-Transducer 18! erzeugte! Ultraschallenergie! verursacht! darüber! hinaus! Scherkräfte! die! der! Eiskristallbildung! zusätzlich! entgegenwirken.

[0037] Das! Gewebe! wird! in! diesem! sogenannten Zustand! des! "supercooling"! in! keiner! Weise! geschädigt, da! lediglich! alle! biochemischen! Prozesse! reversibel

stark verlangsamt werden, ohne daß es zu einem mechanischen Zell- oder Gewebeschaden kommt. Für die Gefrierwirkung auf das tieferliegende Gewebe ist der mittlere Temperaturgradient der Gewebeoberfläche zum tieferen Gewebe entscheidend. Da Temperaturen von unterhalb ca. -40°C ausreichen, irreversible Gewebeschäden zu erzeugen, muß die Temperatur des Kohlmittelapplikators so tief gewartet werden, daß unter Berücksichtigung des zu erreichenden supercooling-Zustandes bzw. der zyklischen Temperaturanhebung in Gefrierpunktsnähe immer noch ein ausreichender Kältegradient vorhanden bleibt. Ein direkter mit flüssigem Stickstoff gefüllter Saphirapplikator, durch dessen Querschnitt eingestrahelte optische Energie die oberen Hautschichten bis auf 0°C kurzzeitig erwärmt, verursacht einen effektiven Temperaturgradienten von beispielsweise ca. -80°C. Diese Temperatur ist mehr als ausreichend, um eine ausreichend schnelle Gefrierzonenausbreitung in den gewünschten Arealen zu erreichen.

Patentansprüche

1. Bestrahlungsanordnung, insbesondere zur optischen Thermolyse, umfassend eine nichtkohärente NIR-Lichtquelle, einen der NIR-Lichtquelle zugeordneten Lichtwellenleiter und eine Kohleinrichtung, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Lichtwellenleiter (3) einstöckig aus einem massiven Saphir oder Quarz gebildet ist, um dessen Umfang mindestens teilweise ein in einem geschlossenen Kohlkreislauf befindliches Kohlmittel sich befindet.
2. Bestrahlungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Kohlmittel als Kohlfösigkeit (9) ausgebildet ist.
3. Bestrahlungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtwellenleiter (3) zylinder- oder quaderförmig ausgebildet ist.
4. Bestrahlungsanordnung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Stirnseite (11) des Lichtwellenleiters (3) ein langwelliger Infrarotfilter zugeordnet ist.
5. **Bestrahlungsanordnung** nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Stirnseite (10) des Lichtwellenleiters (3) innerhalb der Kühlflüssigkeit (9) angeordnet ist und der Kühlkreislauf im Bereich zwischen der NIR-Lichtquelle (2) und der Stirnseite (10) des Lichtwellenleiters (3) mittels eines Quarz- oder Saphirfensters geschlossen ist.
6. Bestrahlungsanordnung nach einem der Ansprüche

the 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der NIR-Lichtquelle (2) und dem Lichtwellenleiter (3) ein Konus aus optisch transparentem Material angeordnet ist, dessen kleinerer Durchmesser dem Lichtwellenleiter (3) zugeordnet ist.

7. Bestrahlungsanordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Konus aus Quarz oder BK7-Glas besteht.
8. Bestrahlungsanordnung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß um den Konus ein infrarotreflektierender Trichter angeordnet ist.
9. Bestrahlungsanordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtwellenleiter im Bereich der Flüssigkeitskühlung mit einer infrarotreflektierenden Schicht beschichtet oder in einer infrarotreflektierenden Hülse geführt ist.
10. Pulsbare NIR-Lichtquelle zur Erzeugung von Pulslängen größer 20ms, insbesondere zur Verwendung in einer Bestrahlungsanordnung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die NIR-Lichtquelle (2) eine Wolfram-Nacktwendel, einen halboffenen Reflektor, einen Lichtwellenleiter (3), eine Schutzgasquelle und eine Spannungspulse erzeugende Spannungsquelle umfaßt, wobei die Wolfram-Nacktwendel einseitig im Reflektor gesockelt und mit der Spannungsquelle verbunden ist, der Lichtwellenleiter (3) in den halboffenen Reflektor hineinragt, so daß zwischen Lichtwellenleiter (3) und Reflektor eine Öffnung definiert wird, über die Schutzgas in den Reflektor ein- und/oder ableitbar ist.
11. Pulsbare NIR-Lichtquelle zur Erzeugung von Pulslängen größer 20ms, insbesondere zur Verwendung in einer Bestrahlungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die NIR-Lichtquelle (2) als **Glöhwendel-Halogenlampe** ausgebildet ist, der eine Spannungspulse erzeugende Spannungsquelle zugeordnet ist, wobei die Spannungspulse einen Oberlastbetrieb der Glöhwendel-Halogenlampe erzeugen.
12. Pulsbare NIR-Lichtquelle nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Glöhwendel (13) aus Wolfram gebildet ist.
13. Pulsbare NIR-Lichtquelle nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß um den Quarzhohlkörper der Glöhwendel-Halogenlampe teilweise ein Reflektor angeordnet ist.

14.:Pulsbare!NIR-Lichtquelle!nach!einem!der!AnsprO-
che!10!bis!13,!dadurch!gekennzeichnet,!daB!die
strahlende!Flache!durch!chemische!und!oder!phy-
sikalische!Verfahren!mikrostrukturiert!ist,!so!daB
unerwünschte Wellenlangen!interferenzoptisch 5
ausgeloscht!werden.

10

15

20

25

30

35

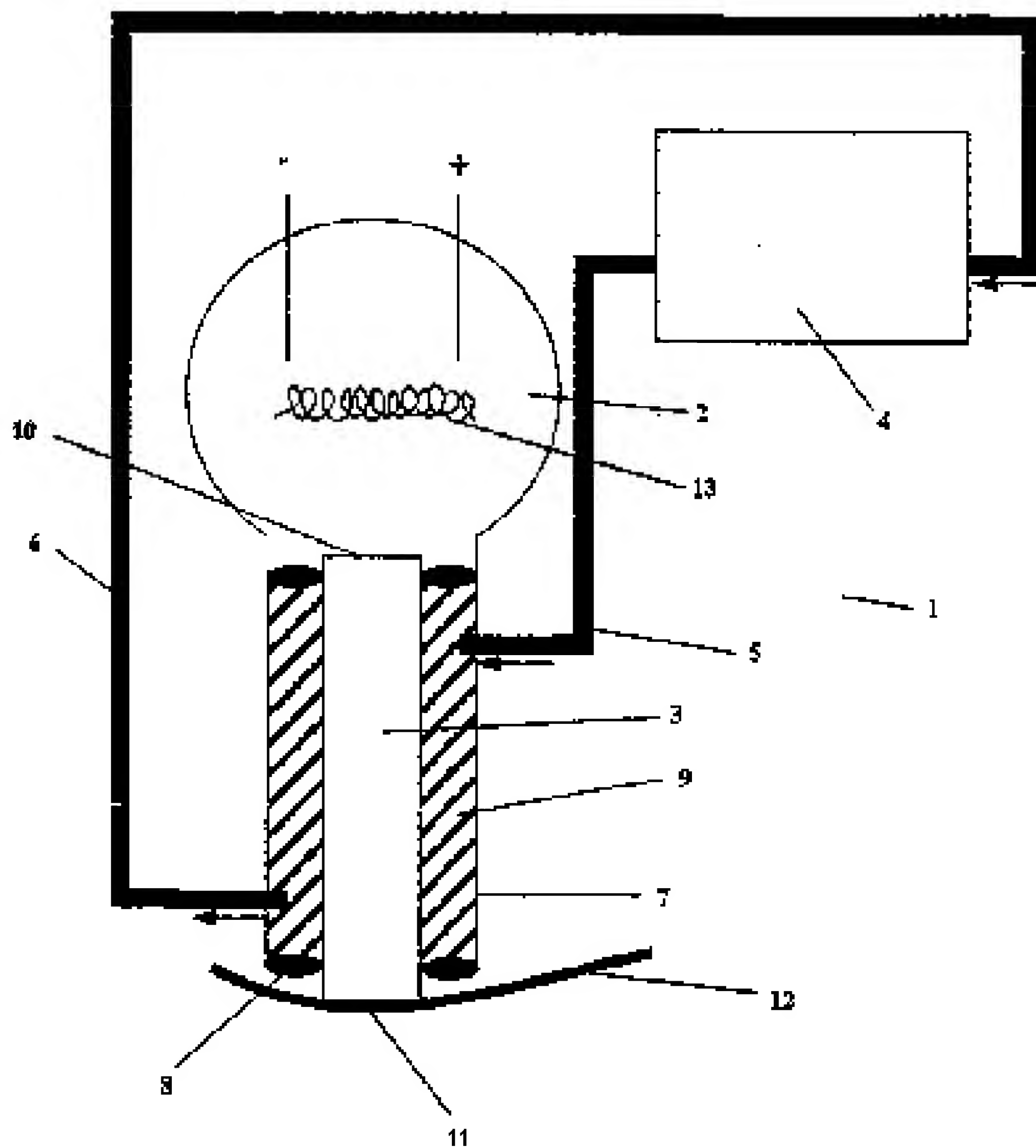
40

45

50

55

Fig.1



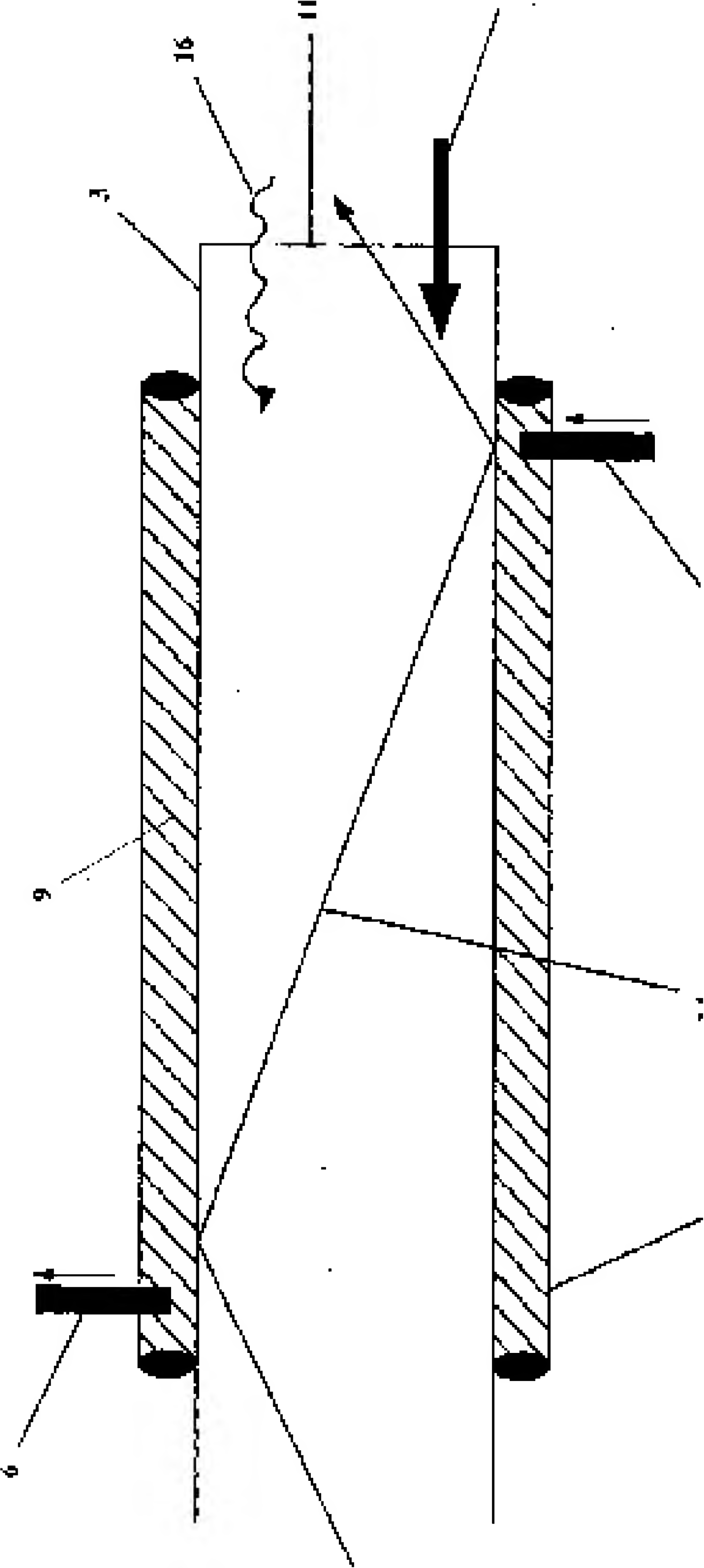


Fig3

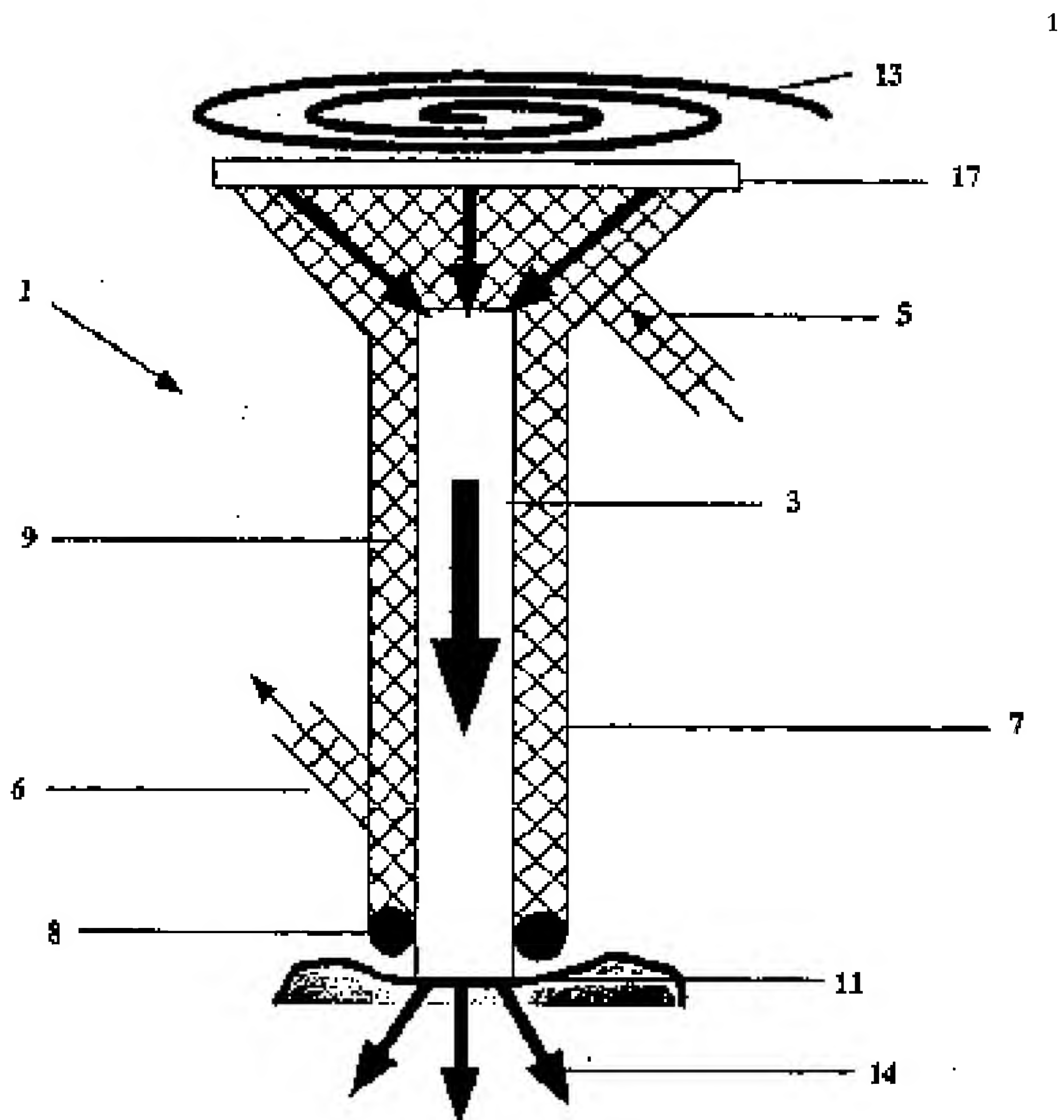


Fig.4

